

Diana HENZ, Wolfgang SCHÖLLHORN, Mainz, Reinhard OLDENBURG, Frankfurt

Bessere Mathematikleistungen durch bewegtes Sitzen? Eine EEG-Studie zum Zusammenhang von mentaler und körperlicher Bewegung

Zusammenhänge zwischen körperlichen Bewegungen und Lernprozessen sind schon seit langer Zeit in der Diskussion. Eine positive Wirkung von Bewegung auf die kognitive Leistungsfähigkeit, insbesondere in den kognitiven Funktionsbereichen der Konzentrationsfähigkeit, des Kurz- und Langzeitgedächtnisses sowie der Problemlösefähigkeit, konnte belegt werden (z. B. Etnier et al. 2006). Angelehnt an diese Erkenntnisse erfährt das Konzept der bewegten Schule seit einigen Jahren größere Aufmerksamkeit. Mit dem Konzept der körper- und raumorientierten Anschauungsmittel kann das Potenzial des Lernens durch Bewegung präziser beschrieben und gezielter ausgeschöpft werden (Högger 2013). Für den mathematischen Bereich konnte ein Hinweis auf einen Zusammenhang von grobmotorischer Koordinationsfähigkeit und mathematischen Fertigkeiten gefunden werden (Lopes, Santos, Pereira & Lopes 2013). In den letzten Jahren wurde die Idee der Embodied Mathematics (Lakoff & Núñez 2000) in der Mathematikdidaktik rezeptiert, beispielsweise in der monumentalen Monographie (Tall 2013). Empirische Stützung erfährt dieser Ansatz zum einen durch die Kognitionswissenschaften (embodied mind, z. B. Fields 2013), zum anderen durch mathematikdidaktische Untersuchungen zur Rolle von Gesten beim Mathematiklernen. Wenig untersucht ist bisher die genaue Schnittstelle zwischen kognitiven Prozessen auf Verhaltensebene und der Gehirnfunktion bei mathematischen Arbeitsprozessen unter Bewegung.

In einer experimentellen Studie (Maus, Henz & Schöllhorn 2013) konnte eine positive Wirkung von bewegtem Sitzen auf die kurz- und langfristige Konzentrationsfähigkeit festgestellt werden, wobei dies sowohl anhand von Verhaltensdaten als auch auf neurophysiologischer Ebene (EEG) gezeigt werden konnte. Die vorliegende Studie schließt methodisch an diese Arbeit an und untersucht die Wirkung von statischem und dynamischem Sitzen auf die Leistung in den Bereichen Algebra, Geometrie und Arithmetik.

Embodied Mathematics

Lakoff und Núñez (2000) vertreten die weit reichende These, dass abstrakte Ideen durch konzeptuelle Metaphern aus den Erfahrungen der alltäglichen physikalischen Welt abstrahiert werden. Wittmann et al. (2012) schließen sich dem an und verdichten die Position zu „All human concepts, including

In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 523–526). Münster: WTM-Verlag

mathematical concepts, are based in the perceptual motor system experiences we have while interacting with the world around us". Eine Folge ist, dass Transformationen in der symbolischen Algebra von Schülern häufig mit Metaphern aus der Domäne der Bewegungen beschrieben werden (z. B. „das x nach links bringen“; siehe Tall 2013, S. 12). Wittmann et al. (2012) analysieren die Gesten von Studierenden bei einer symbolischen Umformungsaktivität im Sinne einer physikalischen Bewegung von Symbolen.

Zusammengefasst kann aus diesen Arbeiten die Hypothese vom algebraischen Symbolraum abgeleitet werden: Algebraische Manipulationen finden in einem Symbolraum statt, der analog zu unserem räumlichen Anschauungsraum strukturiert ist. Mit der vorliegenden Untersuchung soll überprüft werden, ob (1) bewegtes Sitzen mathematische Problemlösungsprozesse günstig beeinflusst und (2) algebraisches Handeln, vergleichbar räumlichem Manipulieren, eine Aktivierung von Gehirnarealen herbeiführt, die mit visuell-räumlicher Verarbeitung assoziiert sind.

Studiendesign

Es wurden $n=15$ Probanden (Studierende der Sportwissenschaft) auf ihre mathematischen Leistungen in drei Bereichen unter zwei Bedingungen der körperlichen Haltungskontrolle (statisch sitzend (normaler Stuhl), dynamisch sitzend (Stuhl mit zwei Freiheitsgraden der Bewegung) getestet.

Die drei Leistungsbereiche des Tests waren Arithmetik (Num), Algebra (Alg) und Raumgeometrie (Geo). Alle Aufgaben wurden im multiple-choice-Format am PC präsentiert und mussten rein mental bearbeitet werden. In jedem Bereich gab es drei Schwierigkeitsniveaus. Die $2 \times 3 \times 3$ Testaufgaben wurden in der Abfolge randomisiert und in zwei Sitzungen je fünf Minuten bearbeitet, so dass jeder Proband zwei mal 45 Minuten getestet wurde.

Der Arithmetiktest wurde ad hoc theoriebasiert (vgl. Padberg 2007) entwickelt. Typische Vertreter: Niveau 1: (Distraktoren in Klammern): $279-69=$ (191, 190, 210, 220, 230); Niveau 3: $1980/44=$ (47, 46, 45, 44, 43). Die Algebraaufgaben bestanden in der Lösung linearer Gleichungen. Auf Niveau 1 und 2 konnte rein arithmetisch durch Rückwärtsrechnen gelöst werden, Bsp.: $8x+7=47$ (1, 2, 3, 4, 5). Die Gleichungen dieser Niveaus werden von Filloy (2008) als arithmetisch bezeichnet, da man nicht mit der Unbekannten selbst operieren muss. Bei Niveau 3 hingegen tritt die Unbekannte beidseitig auf, Bsp.: $x+15=x+10+x$, (5, 10, 15, 20, 25), so dass man sie mental von einer Seite der Gleichung zur anderen bewegen muss. Das Raumvorstellungsvermögen wurde mit dem Bausteine-Test von Birkel et al. (2002) gemessen. Die Zahl der in fünf Minuten erzielten korrekten

Antworten wurde gemäß der Kombination aus Art (Num, Alg, Geo) und Niveau (1, 2, 3) als Geo1 usw. bezeichnet. Auf den höheren Niveaus sind diese Zahlen erwartungsgemäß geringer. Deshalb wurden in den Summenscores die mit dem Niveau multiplizierten Scores aufsummiert.

Die elektrische Gehirnaktivität wurde mittels EEG von 19 Elektroden nach dem 10-20 System bei einer Messfrequenz von 256 Hz jeweils vor, während und nach der Aufgabenbearbeitung aufgezeichnet. Die EEG-Daten wurden Fourieranalysen unterzogen und die Leistungsdichtespektren für das α - (8-13 Hz), β - (13-30 Hz) und γ -Band (30-40 Hz) berechnet.

Ergebnisse der Verhaltensstudie

Die Hypothese des algebraischen Symbolraums legt nahe, dass Alg1-Aufgaben wie Num behandelt werden, Alg3-Aufgaben dagegen im Symbolraum stattfinden und daher mit Geo korrelieren. Zur Kontrolle wurde eine multivariate Regression (Methode *lm* von R) berechnet.

	Alg1 ~ Geo + Num		Alg3 ~ Geo + Num	
	β	p-Wert	β	p-Wert
Geo	0.004	0.89	0.067	0.039 *
Num	0.246	0.3×10^{-9} ***	0.135	0.45×10^{-6} ***

Bei allen neun Aufgabenarten zeigen die dynamisch sitzenden Probanden höhere Testleistungswerte als statisch sitzende. Es treten mittlere Effekte auf, die jedoch (zum Teil nur knapp) nicht signifikant sind. Die höchste Effektstärke (Cohens *d* für gepaarte Stichproben) $d=0.49$ tritt bei Alg3 auf.

Ergebnisse der EEG-Studie

Anhand der EEG-Spontanaktivität lassen sich Effekte der Haltungskontrolle in Abhängigkeit von der Art der Mathematikaufgabe und des Schwierigkeitsgrades auf die Zusammensetzung der Frequenzbänder beobachten. Bei Alg3 und Geo3 tritt eine erhöhte Alpha-Aktivität in den visuellen und somatosensorischen Arealen, bei Num3 eine erhöhte Gesamtaktivität im Beta- und Gamma-Band in der Bedingung des dynamischen Sitzens auf.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen einen positiven Effekt des dynamischen Sitzens auf die mathematische Leistung, der sich anhand der Verhaltensdaten in einer besseren Leistung in allen geprüften Bereichen, anhand der neurophysiologischen Daten in einer stärkeren psychophysiologischen Aktivierung jeweils beim höchsten Schwierigkeitsgrad aufzeigen lässt. Die Verhaltensda-

ten können so gedeutet werden, dass das mentale Umformen von Gleichungen mit dem Raumvorstellungsvermögen zusammenhängt. Die EEG-Daten liefern bestätigende Hinweise für die Hypothese von unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen bei Numerik- im Gegensatz zu Geometrie- und Algebraaufgaben. Während bei Numerik vor allem eine Regulation der Aufmerksamkeitsprozesse in den frontalen Gehirnarealen erforderlich ist, kann für Geometrie und Algebra die Hypothese einer visuell-räumlichen Verarbeitung anhand objektiver neurophysiologischer Daten bestätigt werden. Die Ergebnisse stützen die These des algebraischen Symbolraums, werfen jedoch die Frage auf, ob das Modell der Embodied Mathematics geeignet ist, die gefundenen neurophysiologischen Aktivierungsmuster hinreichend zu erklären. Folgende Alternativerklärungen sind denkbar: (1) Maßgeblich sind Prozesse der Regulation des psychophysiologischen Aktivierungsniveaus durch dynamisches Sitzen. (2) Es finden Ablenkungsprozesse durch sensorische Erfahrungen des dynamischen Sitzens statt, die einer dysfunktionalen Überfokussierung auf die Aufgaben entgegenwirken und somit eine optimale Aufmerksamkeitslenkung bei bereits automatisierten Aufgabenabläufen fördern, im günstigsten Fall sogar ein Flowerleben ermöglichen.

Literatur

- Birkel, P., Schein, A. & Schumann, H. (2002). *Bausteine-Test*. Hogrefe. Göttingen.
- Etnier, J.L., Nowell, P.M., Landers, D.M. & Sibley, B.A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52, 119-130.
- Fields, C. (2013). Metaphorical motion in mathematical reasoning: further evidence for pre-motor implementation of structure mapping in abstract domains. *Cognitive Processing*, 14(3), 217-229.
- Filloy, E., Puig, L. & Rojano, T. (2008). *Educational algebra*. New York: Springer.
- Högger, D. (2013). *Körper und Lernen. Wie Bewegung, Körperwahrnehmung und Raumorientierung das Lernen unterstützen*. Bern: Schulverlag.
- Lakoff, G. & Núñez, R. (2000). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- Maus, J., Henz, D. & Schöllhorn, W.I. (2013). Increased EEG-beta activity in attentional tasks under dynamic postural control. In U. Ansorge, E. Kirchler, C. Lamm & H. Leder (Eds.), *TeaP 2013. Abstracts of the 55th Conference of Experimental Psychologists* (p. 396). Lengrich: Pabst Science Publishers.
- Padberg, F. (2007). *Didaktik der Arithmetik*. München: Spektrum.
- Tall, D. (2013). *How Humans Learn to think Mathematically*. Cambridge: Cambridge.
- Wittmann, M.C., Flood, V.J. & Black, K.E. (2012). Algebraic manipulation as motion within a landscape. *Educational Studies in Mathematics*, 82(2), 169-181.